

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-161020
 (43)Date of publication of application : 19.06.1998

(51)Int.CI. G02B 13/18
 G02B 27/42

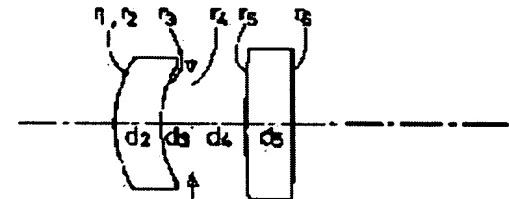
(21)Application number : 08-321307 (71)Applicant : OLYMPUS OPTICAL CO LTD
 (22)Date of filing : 02.12.1996 (72)Inventor : KAMO YUJI

(54) PHOTOGRAPHIC OPTICAL SYSTEM USING DIFFRACTION OPTICAL ELEMENT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide the photographic optical system which has high performance and is low-cost by using the diffraction optical element.

SOLUTION: A 1st positive convex meniscus lens of which the object side is convexed, a lightness stop, and a 2nd biconvex positive lens are arranged in order from the object side and a diffraction surface is formed on the object side of the 1st lens. Thus, the lightness stop, at least two lenses, and at least one diffraction surface are provided and a condition $0 < d_{DOE}/f < 0.24$ is met, where (f) is the focal length of the whole system and d_{DOE} is the distance from the lightness stop to the diffraction surface on the optical axis. This is a condition for making light beam height small by arranging the diffraction surface nearby the lightness stop so as to balance a power chromatic aberration.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 06.12.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-161020

(43)公開日 平成10年(1998)6月19日

(51) Int.Cl.⁶G 0 2 B 13/18
27/42

識別記号

F I

G 0 2 B 13/18
27/42

審査請求 未請求 請求項の数 4 OL (全 23 頁)

(21)出願番号 特願平8-321307

(22)出願日 平成8年(1996)12月2日

(71)出願人 000000376

オリンパス光学工業株式会社
東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号(72)発明者 加茂裕二
東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号オリン
パス光学工業株式会社内

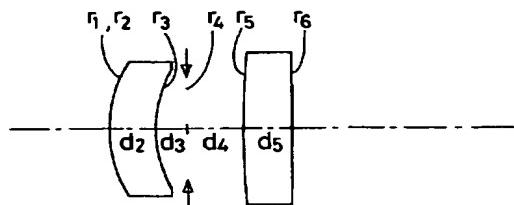
(74)代理人 弁理士 莉澤 弘 (外7名)

(54)【発明の名称】回折光学素子を用いた撮影光学系

(57)【要約】

【課題】回折光学素子を用いて高性能かつ低成本な撮影光学系を提供する。

【解決手段】物体側から順に、物体側に凸のメニスカスの第1正レンズ、明るさ絞り、両凸の第2正レンズの順に配置し、第1レンズの物体側に回折面を形成している。このように、明るさ絞りと、少なくとも2枚のレンズと、少なくとも1面の回折面を有し、 f を全系の焦点距離、 d_{DOE} を明るさ絞りから回折面までの光軸上の距離とすると、 $0 < d_{DOE} / f < 0$ 。24の条件を満たす。これは、倍率色収差のバランスをとるために、回折面を明るさ絞りの近傍に配置して光線高を低くする条件である。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 明るさ絞りと、少なくとも2枚のレンズ*

$$0 < d_{DOE} / f < 0.24$$

ただし、 f は全系の焦点距離、 d_{DOE} は明るさ絞りから回折面までの光軸上の距離である。

【請求項2】 請求項1において、レンズは2枚で構成されていることを特徴とする回折光学素子を用いた撮影光学系。

【請求項3】 明るさ絞りと、2枚のレンズから構成され、回折面を1面のみ有することを特徴とする回折光学素子を用いた撮影光学系。

【請求項4】 請求項2又は3において、物体側から順に、正レンズ、正レンズ、又は、正レンズ、負レンズ、若しくは、負レンズ、正レンズの何れかから構成されていることを特徴とする撮影光学系。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、回折光学素子（Diffraction Optical Element：以下、DOEと呼ぶ。）を用いた撮影光学系に関するものであり、例えば銀塩カメラや電子カメラ等の撮影光学系に利用されるものに関する。

【0002】

【従来の技術】 従来から、銀塩カメラや電子カメラ等に使用される撮影光学系に関しては、高性能と低成本を目的とした提案がされてきた。一般的な撮影光学系では、性能を上げるには収差の補正のために多くの枚数のレンズが必要になり、低成本化するのは難しかった。そこで、近年では、非球面を用いて性能を維持したまま※

$$\sin \theta - \sin \theta' = m\lambda / d$$

ただし、 θ は入射角、 θ' は射出角、 λ は光の波長、 d は回折格子のピッチ、 m は回折次数である。

【0006】 したがって、リング状の回折格子のピッチを適切に構成してやれば、光を一点に集中させることができ、レンズ作用を持たせることができる。すなわち、 j 番目の格子のリング半径を r_j 、回折面の焦点距離を★

$$\sqrt{(r_j^2 + f^2)} - f = j\lambda$$

また、 r_j が焦点距離に対してあまり大きくなれば、格子のリング半径 r_j は次の式で表される。 ☆

$$r_j = \sqrt{(2j\lambda f)}$$

一方、回折格子の構成法としては、明暗のリングにて構成する振幅変調型、屈折率あるいは光路長を変える位相変調型等が提案されている。振幅変調型のDOEでは複数の回折次数光が発生するため、入射光の光量と1次回折光の光量比（以下、回折効率と呼ぶ。）は最大でも6%程度である。あるいは、振幅変調型のDOEを漂白◆

$$h = m\lambda / (n-1)$$

ただし、 h は山の高さ、 m は回折次数（以下、設計回折次数と呼ぶ。）、 n は回折面を構成する光学部材の屈折率である。

*と、少なくとも1面の回折面を有し、次の条件を満たすことを特徴とする回折光学素子を用いた撮影光学系。

・・・ (1)

※枚数を減らすことによって低コストが達成されていく。ところが、非球面は球面収差やコマ収差等の単色収差は補正できるが、色収差の補正ができないという欠点があった。そのため、あまり枚数を減らして低コスト化してしまうと、色収差が悪化するので性能が低下することがあった。したがって、色収差を補正するためには異なるパワーのレンズを組み合わせて補正するしかないので、レンズ枚数を増やすざるを得なかった。そのため、高性能と低成本の両方を満足させることは難しかった。

【0003】 一方、近年では、回折作用によって光線を屈曲させる回折光学素子（DOE）が注目されてきている。DOEは一般的な硝子硝材とは異なり、アッペ数が-3、4.5という逆分散の特性を有しているため、従来の屈折系と違い正パワー+正パワーの組み合わせで色消しできるという特徴がある。このような特徴があるため、撮影光学系にDOEを用いることが考えられている。

【0004】 ここで、まず、そのDOEについて説明を行う。DOEに関しては、「光学」22巻635~642頁及び730頁~737頁に詳しく解説されている。

【0005】 従来のレンズが媒質の界面における屈折作用に基づいているのに対し、DOEは光の回折作用に基づいている。一般的に、図1で示すような回折格子へ光が入射したとき、回折作用にて射出する光は以下の関係式を満たす。

・・・ (a)

★ f とすると、 j 番目の格子により回折された光線と中心を通る光線との光路差が波長の整数倍になるように構成すれば、2つの光は強め合うことになる。つまり、以下の関係式を満たす。

【0007】

・・・ (b-1)

☆【0008】

・・・ (b-2)

◆理等を施して改良したとしても、回折効率は最大で34%程度である。しかし、同じく位相変調型のDOEでも、その断面形状を図2に示すような鋸歯形状で構成すれば回折効率を100%まで向上することができる。そのようなDOEをキノフォームと称している。このとき、鋸歯状の山の高さは次式で与えられる。

・・・ (c)

【0009】 ところが、(c)式は波長の式になつてゐるため、回折効率100%は只一つの波長でしか達成されない。このように回折効率 $D_M(\lambda)$ は波長に依存

し、その関係を表したもののが次の式である。

$$D_M(\lambda) = \sin c^2 [\pi (M - m) / (1 - n) / (1 - n_{DOE}) / (\lambda_{DOE} / \lambda)] \dots (d)$$

ただし、M、mはそれぞれ使用回折次数、設計回折次数、 λ 、 λ_{DOE} はそれぞれ使用波長、設計波長、n、 n_{DOE} はそれぞれ波長 λ 、 λ_{DOE} のときの回折面を構成する光学部材の屈折率である。

【0010】また、キノフォーム形状を図3のように階段近似したものは、バイナリー光学素子と呼ばれたりするが、これはリソグラフィー的手法にて比較的容易に製作できる。バイナリー光学素子では、4段階近似で81%、8段階近似で95%、16段階近似で99%の回折効率が得られることが知られている。

【0011】そこで、このようなDOEを撮影光学系に応用した例として、次のようなものがあった。WO95/18393のものでは、単レンズの撮影光学系に回折面を構成し、収差補正している。特開平4-181908号のものでは、ラジアル型不均質レンズを製作の容易なタイプにするために、それによる色収差の発生を回折型レンズにより打ち消して補正している。また、枚数は1~3枚で構成している。特開平6-324262号と特開平6-331887号のものでは、望遠系のレンズの前玉に回折面を構成して色収差補正を行っている。また、枚数はそれぞれ6枚、10~11枚で構成している。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】ところが、DOEを用いたこれらの撮影光学系では、何れも性能やコストにおいてまだ不十分であった。WO95/18393のもの*

$$0 < d_{DOE} / f < 0.24$$

ただし、fは全系の焦点距離、 d_{DOE} は明るさ絞りから回折面までの光軸上の距離である。

【0017】本発明の第2の回折光学素子を用いた撮影光学系は、明るさ絞りと、2枚のレンズから構成され、回折面を1面のみ有することを特徴とするものである。

【0018】本発明の第3の回折光学素子を用いた撮影光学系は、明るさ絞りを有し、物体側から順に、正レンズ、正レンズの2枚から構成され、少なくとも1面の回

$$-1 < SF_1 < 0.15$$

ただし、 SF_1 は、

$$SF_1 = (r_A - r_B) / (r_A + r_B)$$

で表され、ここで、 r_A は第1レンズの物体側の曲率半径、 r_B は第1レンズの像側の曲率半径である。

【0020】本発明の第5の回折光学素子を用いた撮影光学系は、明るさ絞りを有し、物体側から順に、正レンズ、負レンズの2枚から構成され、少なくとも1面の回折面を有することを特徴とするものである。

【0021】本発明の第6の回折光学素子を用いた撮影光学系は、明るさ絞りを有し、物体側から順に、負レン

*では、単レンズなのでコストは低く抑えられている。しかし、コマ収差等は補正し切れていないため、性能は不十分であった。

【0013】特開平4-181908号のものでは、少ない枚数であるにもかかわらず高性能を達成している。

10 ところが、不均質レンズを使用しているため、実際には低コストとは言えなかった。また、不均質レンズはまだカメラ等のための大量生産には向いていないため、不利であった。

【0014】特開平6-324262号、特開平6-31887号のものでは、望遠系のレンズにDOEを用いて高性能を達成している。ところが、DOEは色収差の微修正を行っている程度で、その効果を十分に生かし切れていない。このように、DOEを用いた先行例では、何れも低成本と高性能の両方を満たしていない。

20 【0015】本発明はこのような従来技術の問題点に鑑みてなされたものであり、その目的は、DOEを用いて高性能かつ低成本な撮影光学系を提供することである。

【0016】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するための本発明の第1の回折光学素子を用いた撮影光学系は、明るさ絞りと、少なくとも2枚のレンズと、少なくとも1面の回折面を有し、次の条件を満たすことを特徴とするものである。

$$\dots (1)$$

※折面を有し、何れも均質系の媒質で構成されていることを特徴とするものである。

【0019】本発明の第4の回折光学素子を用いた撮影光学系は、明るさ絞りを有し、物体側から順に、正レンズ、正レンズの2枚から構成され、少なくとも1面の回折面を有し、次の条件を満たすことを特徴とするものである。

$$\dots (3)$$

ズ、正レンズの2枚から構成され、少なくとも1面の回折面を有することを特徴とするものである。

【0022】以下に、本発明において上記構成をとる理由と作用について説明する。最初に、上記の第1~第6の全てのものに関して、目的を達成するための必要な構成条件について説明する。従来より、低成本なレンズ系としてレンズ枚数を1枚で構成したものが提案されていた。ところが、レンズを1枚まで少なくしてしまうと、パワーは仕様で決まってしまい、収差補正をするにはパンディング形状を選択する程度しかなく、設計自由

度が非常に少なかった。そのため、1枚では、構成上、倍率色収差、ペツツバール和の補正ができず、また、非球面を用いても、ディストーション、コマ収差等は残留してしまっていた。このように1枚では低コストであるが、高性能を達成することは難しかった。

【0023】そこで、少なくとも2枚のレンズで構成すれば、レンズのパワー配分や絞り位置の選択等が可能になるため、設計自由度が非常に増え、1枚で補正できなかった上記の収差を良好に補正できる。したがって、低成本といえども高性能を達成するためには、少なくとも2枚のレンズが必要である。

【0024】ところが、レンズを2枚で構成しても、色収差だけは補正が不十分であった。一方、回折光学素子（DOE）は回折面自体でアッペ数が-3、-4.5という分散特性を有しているため、レンズの屈折面に回折面を構成すれば、これ以上レンズを増やすことなく色収差の補正が可能になる。そのため、本発明では、以下に説明するように適切にDOEを用いることによって低成本と高性能を達成することができる。

*

$$0 < d_{DOE} / f < 0.24$$

ただし、fは全系の焦点距離、d_{DOE}は明るさ絞りから回折面までの光軸上の距離である。

【0028】この式の上限の0.24を越えると、回折面による倍率色収差の発生が大きくなるため、軸上色収差とのバランスがとれなくなってしまい、下限の0にならぬ。

$$0.02 < d_{DOE} / f < 0.21$$

次に、第2の撮影光学系について、このような構成をとった理由と作用を説明する。まず、DOEにおける不要次数光の問題について説明する。DOEは先行技術で述べた（c）式に示すように、特定の波長しか回折効率が100%にならないという特性がある。よって、その波長とは異なった波長の光線がDOEに入射すると、設計次数のm次の回折効率が低下するため、それ以外の次数（例えばm+1、m-1次等）の回折効率が増加して不要な光が発生してしまう。ここで、設計次数が1、設計波長が500nmのときの波長350nmから700nmまでの回折効率の変化を図4に示す。図4から明らかなように、白色光に対してDOEを用いるときには、図4における0次と2次のような不要な光が発生するため、画質に影響が出てしまう場合があった。したがって、DOEを多く用いて収差性能を向上させても、不要次数光の影響が大きくなるため、画質は低下してしまう問題があった。

【0030】また、回折面は1面で十分に色収差補正効果があるため、複数面にして構成すると、色収差補正効果が過剰になり、回折面で発生する色収差を別の回折面で補正しなければならない場合があった。そのため、このような回折面の配置にすると、組立等によって回折面同士が偏心すると、性能低下が起きる心配があった。したがって、本発明の目的を達成するには、2枚のレンズ

* 【0025】まず、第1の撮影光学系について、このような構成をとった理由と作用を説明する。最初に、DOEにおける収差補正の効果について説明する。DOEは非常に高分散なので、パワーを大きくしすぎると色収差が発生して性能が低下してしまう。そのため、色収差の発生のバランスをとるため、DOEのパワーを比較的小さくして色収差を補正した。

【0026】ところが、そのようにDOEを構成しても、倍率色収差が劣化してしまうことがある。倍率色収差に関しては、パワーだけでなく光線高によっても色収差補正効果が変わる。そのため、分散が非常に大きいDOEを光線高の高いところに構成してしまうと、倍率色収差の補正効果が過剰になってしまいうことが劣化の原因である。したがって、倍率色収差のバランスをとるために、本発明では、回折面を明るさ絞りの近傍に配置することによって光線高を低くするように構成した。

【0027】したがって、回折面の位置は以下の条件式を満たすのがよい。

... (1)

※ると、明るさ絞りと物理的に干渉してしまう。また、高性能と低成本を更に満たすためには、（1）式は以下の条件を満たすのがよい。

【0029】

... (2)

系に回折面を最小の1面で構成するのがよい。

【0031】次に、第3の撮影光学系について、このような構成をとった理由と作用を説明する。第3～第4の撮影光学系では、正パワー+正パワーの2枚レンズの最適な構成について説明する。

【0032】従来の正パワー+正パワーの2枚レンズでは、全系の焦点距離に対して正のパワーが2つに分割するため、各面の曲率が余りきつくならない。そのため、高次収差の発生が少なく、球面収差やコマ収差等の単色収差は全般的に良好であるという利点がある。しかし、このレンズ系には正レンズしかないため、軸上色収差を小さくするには個々の収差発生量を小さくするしかなく、原理的に0にすることはできなかった。そのため性能は十分とはいえないかった。そこで、本発明では、回折面を正パワー+正パワーのレンズ系に用いることによって、効果的に色収差の補正を行い、性能を向上させた。

【0033】ところで、レンズに不均質媒質を用いると、媒質によつて色収差やコマ収差等の単色収差の補正ができるため、均質系で構成するよりも更に性能が向上することが考えられる。しかし、不均質レンズは均質レンズに比べてコストが非常に高く、枚数が少なくてまだカメラ等に使用するには低コストとはいえない。また、品質管理や生産方法も均質系に比べて難しいため、カメラ等の大量生産をするものには不向きである。した

がって、不均質媒質を使用すれば性能が向上するが、それに対してコストや生産性の問題が非常に大きいため、総合するとデメリットの方が大きい。したがって、本発明の目的を達成するには、全て均質系媒質で構成した正パワー+正パワーの2枚のレンズに回折面を構成するのがよい。

【0034】次に、第4の撮影光学系について、このような構成をとった理由と作用を説明する。レンズ系を2枚だけで構成すると、一方のレンズで大きな収差が発生したとき、もう一方のレンズでは収差を補正し切れないことがある。そのため、個々のレンズの収差発生をでき*

$$-1 < SF_1 < 0.15$$

ただし、 SF_1 は、

$$SF_1 = (r_A - r_B) / (r_A + r_B)$$

で表され、ここで、 r_A は第1レンズの物体側の曲率半径、 r_B は第1レンズの像側の曲率半径である。この条件式は第1レンズのシェイプファクターを表し、この上限の0.15を越えると、正のパワーが小さくなってしま

$$-0.5 < SF_1 < 0.08$$

また、第2～第4の撮影光学系の構成においては、正レンズしかないので、ペツツバール和を小さくできず、像面湾曲によって周辺性能が悪化することがあった。この場合には、湾曲の影響を小さくするために像面を長辺若しくは短辺方向に曲率を付けたシリンドリカル形状に構成すればよい。

【0037】次に、第5の撮影光学系について、このような構成をとった理由と作用を説明する。まず、2枚のレンズを正パワー+正パワーで構成すると、正レンズしかないと、ペツツバール和を小さくできないという欠点があった。そのため、像面湾曲が大きくなってしまい、周辺性能に問題があった。また、主点位置はレンズの中央付近になるため、全長を短縮するのは原理的に限界があった。

【0038】そこで、2枚のレンズを物体側から順に正レンズ、負レンズで構成すると、ペツツバール和の補正が可能になり、さらに、主点位置が物体側に移動するので全長の短縮が可能になる。ところが、正パワー+負パワーの2枚では、余りパワーを強くすると球面収差やコマ収差が悪化してしまうため、色収差補正に最適なパワー構成をとれず十分な補正ができなかった。

【0039】そこで、本発明では、回折面を正パワー+負パワーのレンズ系に用いることによって色収差の補正を効果的に行い、性能を向上させた。このような構成をとれば、従来のレンズ系よりも性能が良好になり、全長を短縮できるので、カメラをコンパクトにできる。したがって、本発明の目的を達成するには、物体側から順に正パワー+負パワーのレンズに回折面を構成すればよい。

【0040】次に、第6の撮影光学系について、このような構成をとった理由と作用を説明する。第6の撮影光

*るだけ小さくすることが必要である。特に、正パワー+正パワーの構成の場合、第1レンズよりも第2レンズの方が光束が細くなるため、第2レンズでは球面収差やコマ収差の補正がし難くなる。そのため、第1レンズでの収差発生をできるだけ小さくしておくことが必要である。そのため、上記の収差を良好に補正するには第1レンズを物体側に凸の形状にすればよく、また、これによってディストーションや非点収差の発生も小さくできる。

【0035】したがって、第1レンズは以下の条件を満たすのがよい。

$$\dots (3)$$

※差補正の効果が少なくなり、下限の-1を越えると、レンズの形状が物体側に凸でなくなるので、コマ収差等が悪化してしまい、性能が低下してしまう。また、更なる高性能を満たすためには、式(3)は次の条件を満たすのがよい。

【0036】

$$\dots (4)$$

学系では、負パワー+正パワーの2枚レンズの構成について説明する。すでに述べたように、2枚を正パワー+正パワーで構成すると、ペツツバール和の影響により像面湾曲が大きくなってしまい周辺性能に問題があった。また、主点位置はレンズの中央付近になるため、焦点距離が短くなるとバックフォーカスが十分に確保できない場合があった。

【0041】そこで、2枚のレンズを物体側から順に負パワー+正パワーで構成すると、ペツツバール和の補正が可能になり、さらに、主点位置が像側に移動するのでバックフォーカスの確保が可能になる。ところが、従来の負パワー+正パワーの2枚レンズでは、余りパワーを強くすると球面収差やコマ収差が悪化してしまうため、色収差補正に最適なパワー構成をとれず十分な補正ができなかった。そこで、本発明では、回折面を負パワー+正パワーのレンズ系に用いることによって色収差の補正を効果的に行い、性能を向上させた。

【0042】このような構成をとれば、従来のレンズ系よりも性能が良好になり、広角系のレンズや、また、例えば監視カメラ用レンズのようなイメージサイズが小さい光学系において、焦点距離が短くなても物理的にバックフォーカスが確保できる。したがって、本発明の目的を達成するには、物体側から順に負パワー+正パワーのレンズに回折面を構成すればよい。

【0043】また、第5～第6の撮影光学系では、2枚レンズの中の1枚が負レンズであるため、全系のパワーを確保するためには正レンズのパワーを大きくする必要がある。さらに、色収差やペツツバール和の補正、全長短縮等を行うとパワーが強くなり各面の収差発生量が大きくなり、性能が低下してしまうことがある。そのため、望ましくは、レンズ系には回折面の他に少なくとも

1面の非球面を用いれば、収差が良好に補正できる。

【0044】また、第5～第6の撮影光学系の構成で*

$$-1.2 < f/f_{NEG} < -0.05$$

ただし、 f は全系の焦点距離、 f_{NEG} は負レンズの焦点距離である。

【0045】この条件式は負レンズのパワーの条件式で、上限の-0.05を越えると、パワーが弱くなりすぎて色収差補正やペツツバール和の補正の効果が少なく※

$$-0.9 < f/f_{NEG} < -0.15$$

また、ここで、第2～第6の撮影光学系における絞り位置について説明する。従来の2枚レンズでは十分に倍率色収差を補正できないので、性能を確保するには絞りを配置できる位置は限られてきた。ところが、DOEを用いることによって倍率色収差を良好に補正できるため、絞り位置も従来より自由度が大きくなつた。

【0047】特に、絞り位置を物体側や像側にすれば、シャッター部材はレンズのスペースに邪魔されずに構成できるので、カメラ内での設計自由度が大きくなる。また、絞り位置を2枚のレンズ間にすれば、周辺光束をレンズの枠等で上下ともカットできるため、コマ収差の補正上有利である。

【0048】また、第1～第2の撮影光学系において、2枚のレンズを正パワー+正パワーで構成してもよい。そうすれば、第3、第4の撮影光学系に関して説明したように、球面収差やコマ収差が良好に保たれ、単色収差が全般的に良好になる。

【0049】また、第1～第2の撮影光学系において、2枚のレンズを正パワー+負パワーで構成してもよい。そうすれば、第5の撮影光学系に関して説明したように、ペツツバール和の問題を改善でき、また、全長短縮が可能になる。

【0050】また、第1～第2の撮影光学系において、2枚のレンズを負パワー+正パワーで構成してもよい。そうすれば、第6の撮影光学系に関して説明したよう★

$$470\text{nm} < \lambda_{DOE} < 550\text{nm}$$

この条件式は、レンズの透過率、フィルムやCCD等の分光特性、光源の分光特性を考慮してDOEによるフレアが目立たなくなるように設計波長 λ_{DOE} を設定したものである。そのため、この条件式の上限550 nm、下限470 nmを越えると、フレアが比較的目立ちやすくなってしまう。

【0055】また、その他に第1～第6の撮影光学系を次のように構成してもよい。従来、DOEにおいて回折面を平面上に構成したものがあった。このようにすれば回折面の製作が容易になるが、面への入射角が大きくなるとコマ収差が発生しやすくなるため、収差補正上好ま☆

$$0.02 < f/f_{DOE} < 0.5$$

ただし、 f は全系の焦点距離、 f_{DOE} は回折面のパワーである。

【0058】この条件式の上限0.5を越えると、回折

*は、負レンズは以下の条件を満たすのがよい。

・・・(5)

※なり、下限の-1.2を越えると、パワーが強くなりすぎて非球面を用いてもコマ収差や非点収差が補正できなくなる。また、さらなる高性能を満たすためには、式(5)は以下の条件を満たすのがよい。

【0046】

・・・(6)

10★に、ペツツバール和の問題を改善でき、また、焦点距離が短いレンズ系でもバックフォーカスの確保が容易になる。

【0051】また第1、第3～第6の撮影光学系において、回折面を1面のみで構成してもよい。そうすれば、第2の撮影光学系に関して説明したように、不要次数光の問題が少くなり、画質の低下を抑えられる。

【0052】また、第1～第2、第4～第6の撮影光学系において、全てのレンズの媒質を均質系で構成してもよい。そうすれば、第3の撮影光学系に関して説明したように、コストや生産性において問題が少なくなる。

【0053】また、このような不要次数光の問題に関して、第1～第6の撮影光学系において、設計次数を1次にするのがよい。従来技術で説明した(c)式において、設計次数mを1～5にしたときの回折効率の変化を示したのが図5である。この図から明らかなように、撮影光学系で使用するような広い波長域では、設計次数を大きくすると波長の変化による回折効率の低下が激しくなってくる。そのため、不要次数光によるフレアの発生を少なくするには、設計次数を最も回折効率の低下の少ない1次で構成すればよい。

【0054】また、同じ問題に関して、第1～第6の撮影光学系において、回折効率を最大にする設計波長 λ_{DOE} を次のようにすればよい。

・・・(9)

☆しくない。そのため、回折面を構成する面にも曲率を付けた方が収差が良好に補正される。

【0056】また、従来のレンズ系では、正レンズに対し負レンズを用いて色消しを行っていた。しかし、DOEは逆分散のため、正レンズに対しDOEを正パワーにして構成することによって色消しを行う。このため、本発明のレンズ系でも、回折面のパワーは正パワーで構成するのがよい。

【0057】このとき、回折面のパワーは次の条件を満たすのがよい。

・・・(7)

面のパワーが大きすぎて色収差補正効果が過剰になってしまふため性能が低下してしまい、下限0.02を越えると、回折面のパワーが小さすぎて色収差補正効果が小

さくなるため性能が向上しない。また、更に高性能を満たすためには、式(7)は以下の条件を満たすのがよ *

$$0.05 < f/f_{DOE} < 0.25$$

また、回折面は撮影光学系の光利用効率を大きさするようにした方が不要光が減り、優れた画質が得られるため、回折効率の良いキノフォーム形状がよい。若しくは、キノフォーム形状を階段近似したバイナリー光学素子と呼ばれるものが好ましい。

【0060】また、DOEはプラスチックで構成すれば、一体成型を行うことによって大量生産が容易になるため、カメラ等に最適である。また、それを低吸湿材料にすれば、湿度による形状変化が少なくなるので、環境変化による性能劣化が少なくなる。一方、DOEをガラス等で構成する場合、レンズ表面に微細な回折格子を形成するのは容易ではない。そのため、ガラス表面に薄い樹脂層を形成し、その樹脂表面に回折格子を作成すれば、製作が容易になる。この樹脂材料は紫外線によって硬化するタイプ、熱にて硬化するタイプ等が生産性において好ましい。

【0061】また、撮像素子がCCD等の場合、CCD※20

$$Z = CY^2 / [1 + \sqrt{1 - (1+K) C^2 Y^2}] \\ + A_4 Y^4 + A_6 Y^6 + A_8 Y^8 + A_{10} Y^{10} \dots (e)$$

ただし、Cは面頂における曲率 ($= 1/r$ 、rは曲率半径)、Kは円錐係数、A₄、A₆、A₈、A₁₀はそれぞれ4次、6次、8次、10次の非球面係数である。

【0064】また、回折面と厚みが0で接する面はDOEの基材表面である。そして、実際の製造においては、回折面の非球面形状と基材表面の形状との差及び屈折率から位相変化を求め、この位相変化を回折格子のピッチに換算して基材表面上に回折格子を形成する。そのため、回折面と示したウルトラ・ハイ・インデックス屈折型レンズによる非球面は実際は存在しない。しかし、各実施例に対応するレンズ断面図中には、数値データ中に回折面として記載された面番も基材の面に表記している。

【0065】回折面の具体的な形状としては、例えば図30に断面を示すようなものがある。図の(a)は、透明部21と不透明部22が交互に配列され、不透明部22の厚みはほぼ0であるが、振幅交調型と呼ばれる回折面である。図の(b)は、屈折率の異なる高屈折率部23と低屈折率部24を交互に配列して、屈折率差による位相差にて回折作用を持たせたものである。図の(c)は、矩形状の凹凸を交互に配列して厚みの差による位相差にて回折作用を持たせたものである。これは2レベルのバイナリー素子である。図の(d)は、表面を鋸歯形状にしたものであり、キノフォームと呼ばれ、連続的な厚みの差による位相差にて回折作用を持たせたものである(図2)。図の(e)と(f)は、キノフォームを4レベル及び8レベルで近似したバイナリー素子である(図3)。このように回折面の形状にはいくつかの形式

*い。

【0059】

... (8)

※への入射角を略垂直にして光量確保する必要があるので、光学系をテレセントリックにする必要があった。しかし、そのように構成すると全長が大きくなるので好ましくはなかった。そのため、光学系の射出瞳位置を有限に設定しておくのが望ましい。

【0062】

10 【発明の実施の形態】以下、本発明の回折光学素子を用いた撮影光学系の実施例1～16について説明する。本発明によるレンズ系の回折面は、ウルトラ・ハイ・インデックス法を用いて設計しており、具体的には、回折面は厚みが0で波長がd線のときの屈折率が1001の屈折型レンズとして表現されている。したがって、後記する数値データにおいても、以下に示すような通常の非球面式にて記載する。すなわち、光軸方向をZ軸、光軸と垂直な方向をY軸とすると、非球面は以下の式にて表せられる。

【0063】

$$Z = CY^2 / [1 + \sqrt{1 - (1+K) C^2 Y^2}] \\ + A_4 Y^4 + A_6 Y^6 + A_8 Y^8 + A_{10} Y^{10} \dots (e)$$

があるが、本発明では、回折効率を高くして光量を有効に利用したいため、図30(d)のキノフォームや図30(e)や図30(f)等の4レベル以上のバイナリー素子を用いることが望ましい。

【0066】図6～図21にそれぞれ実施例1～16の光軸を含むレンズ断面図を示す。以下、これらの実施例を説明する。

30 実施例1～4

実施例1～4は、それぞれ図6～図9に示すように、2枚の正レンズから構成され、そのレンズ間に明るさ絞りを配置したものである。実施例1は、物体側から順に、物体側に凸のメニスカスの第1正レンズ、明るさ絞り、両凸の第2正レンズの順に配置し、第1レンズの物体側に回折面(DOE)を形成している。また、実施例2～4は、物体側に凸のメニスカスの第1正レンズ、明るさ絞り、像側に凸のメニスカスの第2正レンズの順に配置している。また、回折面については、実施例2は第1レンズの像側に形成し、実施例3は第2レンズの物体側、実施例4は第2レンズの像側に形成している。また、実施例2～4では、アクリル系の樹脂の基材上に回折面を形成している。なお、実施例1～4の回折面は非球面形状になっている。

【0067】実施例5～6

実施例5～6は、それぞれ図10～図11に示すように、2枚の正レンズから構成され、その物体側に明るさ絞りを配置したものである。実施例5、6共、物体側から順に、明るさ絞り、物体側に凸のメニスカスの第1正レンズ、像側に凸のメニスカスの第2正レンズの順に配

置し、実施例5、6共、非球面を第1レンズの物体側と第2レンズの像側に形成している。また、回折面については、実施例5では第1レンズの像側に形成し、実施例6では第2レンズの物体側に形成している。また、実施例6では、2枚共アクリル系の樹脂で構成し、その中、第2レンズの基材上に回折面を形成している。なお、実施例5、6の回折面は非球面形状になっている。

【0068】実施例7～8

実施例7～8は、それぞれ図12～図13に示すように、2枚の正レンズから構成され、その像側に明るさ絞りを配置したものである。実施例7、8共、物体側から順に、物体側に凸のメニスカスの第1正レンズ、像側に凸のメニスカスの第2正レンズの順に配置し、実施例7では非球面を第1レンズの物体側と第2レンズの像側に、実施例8では第1レンズの物体側に形成している。また、回折面については、実施例7では第1レンズの像側に形成し、実施例8では第2レンズの物体側に形成している。また、実施例7では、2枚共低吸湿なポリオレフィン系の樹脂で構成し、その中、第1レンズの基材上に回折面を形成している。また、実施例8では、ガラス基材上に薄い樹脂層を構成し、その表面に回折面を形成している。なお、実施例5、6の回折面は非球面形状になっている。

【0069】実施例9～10

実施例9～10は、それぞれ図14～図15に示すように、物体側から順に、正レンズと負レンズの2枚から構成され、その物体側に明るさ絞りを配置したものである。実施例9、10共、物体側から順に、物体側に凸のメニスカスの第1正レンズ、像側に凸のメニスカスの第2負レンズの順に配置し、両実施例共非球面を第1レンズの物体側と第2レンズの像側に形成している。また、回折面については、実施例9では第1レンズの像側に形成し、実施例10では第2レンズの物体側に形成している。また、実施例9では、2枚共低吸湿なポリオレフィン系の樹脂で構成し、その中、第1レンズの基材上に回折面を形成している。また、実施例10では、ガラス基材上に薄い樹脂層を構成し、その表面に回折面を形成している。なお、実施例5、6の回折面は非球面形状になっている。

【0070】実施例11

実施例11は、図16に示すように、物体側から順に、正レンズと負レンズの2枚から構成され、その間に明るさ絞りを配置したものである。物体側から順に、物体側に凸のメニスカスの第1正レンズ、明るさ絞り、像側に凸のメニスカスの第2負レンズの順に配置し、非球面を第1レンズの物体側と第2レンズの両面に形成し、回折面を第1レンズの像側に形成している。また、第1レンズをアクリル系樹脂、第2レンズをポリカーボネイト樹脂で構成し、その中、第1レンズの基材上に回折面を形成している。なお、回折面は球面形状になっている。

【0071】実施例12～13

実施例12～13は、それぞれ図17～図18に示すように、物体側から順に、負レンズと正レンズの2枚から構成され、その物体側に明るさ絞りを配置したものである。実施例12、13共、物体側から順に、明るさ絞り、物体側に凸のメニスカスの第1負レンズ、像側に凸のメニスカスの第2正レンズの順に配置し、非球面を、実施例12では第1レンズの物体側と第2レンズの像側に、実施例13では第1レンズの両面と第2レンズの像側に形成している。また、回折面については、実施例12では第1レンズの像側に、実施例13では第2レンズの物体側に形成している。また、実施例12では、第1レンズを低吸湿なポリオレフィン系の樹脂で構成し、その基材上に回折面を形成している。また、実施例13では、ガラス基材上に薄い樹脂層を構成し、その表面に回折面を形成している。なお、回折面は、実施例12では非球面形状、実施例13では球面形状になっている。

【0072】実施例14

実施例14は、図19に示すように、物体側から順に、負レンズと正レンズの2枚から構成され、その間に明るさ絞りを配置したものである。物体側から順に、物体側に凸のメニスカスの第1負レンズ、明るさ絞り、両凸の第2正レンズの順に配置し、非球面を第1レンズの物体側と第2レンズの像側に形成し、回折面を第2レンズの物体側に形成している。また、第1レンズをポリカーボネイト樹脂、第2レンズを低吸湿なポリオレフィン系の樹脂で構成し、その中、第2レンズの基材上に回折面を形成している。なお、回折面は球面形状になっている。

【0073】実施例15～16

実施例15～16は、それぞれ図20～図21に示すように、物体側から順に、負レンズと正レンズの2枚から構成され、その像側に明るさ絞りを配置したものである。実施例15、16共、物体側から順に、物体側に凸のメニスカスの第1負レンズ、像側に凸のメニスカスの第2正レンズ、明るさ絞りの順に配置し、非球面を、実施例15では第1レンズの物体側と第2レンズの像側、実施例16では第1レンズの両面と第2レンズの像側に形成している。また、回折面については、実施例15では第1レンズの像側、実施例16については第2レンズの物体側に形成している。また、実施例15では、第1レンズをポリカーボネイト樹脂で構成し、その基材上に回折面を形成している。なお、回折面は、実施例15では非球面形状、実施例16では球面形状になっている。

【0074】以下に、上記実施例1～16の数値データを示す。各データ中、 f は焦点距離、 F_N はFナンバー、 f_B はバックフォーカス、 ω は半画角、 r_1 、 r_2 …は各レンズ面の曲率半径、 d_1 、 d_2 …は各レンズ面間の間隔、 n_{d1} 、 n_{d2} …は各レンズのd線の屈折率、 ν_{d1} 、 ν_{d2} …はd線のアベ数であり、また、非球面形状は前記(e)式にて表される。

【0075】実施例1

$f = 48.58\text{mm}$, $F_{N0} = 8.0$, $f_B = 39.04\text{mm}$, $\omega = 23.91^\circ$
 $r_1 = 6.91373$ (回折面) $d_1 = 0$ $n_{d1} = 1001$ $v_{d1} = -3.45$
 $r_2 = 6.91384$ $d_2 = 2.29102$ $n_{d2} = 1.69680$ $v_{d2} = 55.53$
 $r_3 = 6.21043$ $d_3 = 1.57116$
 $r_4 = \infty$ (絞り) $d_4 = 2.74000$
 $r_5 = 38.30240$ $d_5 = 2.50000$ $n_{d3} = 1.51633$ $v_{d3} = 64.14$
 $r_6 = -145.27686$

非球面係数

第1面

$K = -0.0175$
 $A_4 = 6.5806 \times 10^{-6}$
 $A_6 = 1.3958 \times 10^{-7}$
 $A_8 = 1.9281 \times 10^{-9}$
 $A_{10} = 1.0779 \times 10^{-10}$

実施例2

$f = 36.06\text{mm}$, $F_{N0} = 8.0$, $f_B = 29.48\text{mm}$, $\omega = 30.43^\circ$
 $r_1 = 7.42410$ $d_1 = 3.09803$ $n_{d1} = 1.49241$ $v_{d1} = 57.66$
 $r_2 = 7.78222$ $d_2 = 0$ $n_{d2} = 1001$ $v_{d2} = -3.45$
 $r_3 = 7.78246$ (回折面) $d_3 = 1.83377$
 $r_4 = \infty$ (絞り) $d_4 = 0.50406$
 $r_5 = -62.16903$ $d_5 = 3$ $n_{d3} = 1.74400$ $v_{d3} = 44.78$
 $r_6 = -27.10094$

非球面係数

第3面

$K = -0.0917$
 $A_4 = 2.4369 \times 10^{-5}$
 $A_6 = 4.0193 \times 10^{-7}$
 $A_8 = 3.2435 \times 10^{-9}$
 $A_{10} = 2.2080 \times 10^{-10}$

実施例3

$f = 35.94\text{mm}$, $F_{N0} = 8.0$, $f_B = 35.73\text{mm}$, $\omega = 31.22^\circ$
 $r_1 = 33.62695$ $d_1 = 2.00000$ $n_{d1} = 1.51633$ $v_{d1} = 64.15$
 $r_2 = 3203.77273$ $d_2 = 2.00000$
 $r_3 = \infty$ (絞り) $d_3 = 2.35882$
 $r_4 = -7.63487$ (回折面) $d_4 = 0.00000$ $n_{d2} = 1001$ $v_{d2} = -3.45$
 $r_5 = -7.63464$ $d_5 = 3.00000$ $n_{d3} = 1.49241$ $v_{d3} = 57.66$
 $r_6 = -7.20525$

非球面係数

$K = -0.0002$
 $A_4 = -1.1363 \times 10^{-7}$
 $A_6 = -3.4337 \times 10^{-8}$
 $A_8 = 4.3313 \times 10^{-9}$
 $A_{10} = -2.0047 \times 10^{-10}$

実施例4

$f = 36.02\text{mm}$, $F_{N0} = 8.0$, $f_B = 31.87\text{mm}$, $\omega = 30.93^\circ$
 $r_1 = 19.71078$ $d_1 = 3.00000$ $n_{d1} = 1.51633$ $v_{d1} = 64.15$
 $r_2 = 30.64933$ $d_2 = 3.00000$
 $r_3 = \infty$ (絞り) $d_3 = 5.00000$

(10)

特開平10-161020

17

$r_4 = -20.19943 \quad d_4 = 2.50000 \quad n_{d2} = 1.49241 \quad v_{d2} = 57.66$
 $r_5 = -11.84776 \quad d_5 = 0.00000 \quad n_{d3} = 1001 \quad v_{d3} = -3.45$
 $r_6 = -11.84746$ (回折面)

非球面係数

第6面

$K = 0.0000$
 $A_4 = 7.0440 \times 10^{-8}$
 $A_6 = -6.2362 \times 10^{-9}$
 $A_8 = 2.9135 \times 10^{-10}$
 $A_{10} = -4.7735 \times 10^{-12}$

実施例5

$f = 36.23\text{mm}, F_N0 = 8.0, f_B = 33.79\text{mm}, \omega = 30.66^\circ$
 $r_1 = \infty$ (絞り) $d_1 = 3.40340$
 $r_2 = 6.58384$ (非球面) $d_2 = 1.20000 \quad n_{d1} = 1.57099 \quad v_{d1} = 50.80$
 $r_3 = 6.87553 \quad d_3 = 0.00000 \quad n_{d2} = 1001 \quad v_{d2} = -3.45$
 $r_4 = 6.87561$ (回折面) $d_4 = 2.30073$
 $r_5 = -13.48876 \quad d_5 = 1.20000 \quad n_{d3} = 1.63854 \quad v_{d3} = 55.38$
 $r_6 = -9.94660$ (非球面)

非球面係数

第2面

$K = -0.6318$
 $A_4 = -1.1042 \times 10^{-4}$
 $A_6 = 4.0200 \times 10^{-5}$
 $A_8 = -2.8152 \times 10^{-6}$
 $A_{10} = 1.2034 \times 10^{-7}$

第4面

$K = -0.0765$
 $A_4 = 2.9184 \times 10^{-5}$
 $A_6 = 6.4199 \times 10^{-7}$
 $A_8 = 6.4026 \times 10^{-9}$
 $A_{10} = 5.2385 \times 10^{-10}$

第6面

$K = -0.2013$
 $A_4 = 5.1608 \times 10^{-5}$
 $A_6 = -1.1148 \times 10^{-6}$
 $A_8 = 6.8045 \times 10^{-8}$
 $A_{10} = -8.1066 \times 10^{-10}$

実施例6

$f = 36.07\text{mm}, F_N0 = 8.0, f_B = 33.72\text{mm}, \omega = 30.77^\circ$
 $r_1 = \infty$ (絞り) $d_1 = 3.05845$
 $r_2 = 9.97541$ (非球面) $d_2 = 2.47667 \quad n_{d1} = 1.49241 \quad v_{d1} = 57.66$
 $r_3 = 12.19426 \quad d_3 = 1.45021$
 $r_4 = -11.88229$ (回折面) $d_4 = 0.00000 \quad n_{d2} = 1001 \quad v_{d2} = -3.45$
 $r_5 = -11.88196 \quad d_5 = 2.24201 \quad n_{d3} = 1.49241 \quad v_{d3} = 57.66$
 $r_6 = -9.08945$ (非球面)

非球面係数

第2面

$K = 0$
 $A_4 = -1.3961 \times 10^{-4}$
 $A_6 = 4.0138 \times 10^{-6}$

19

20

$A_8 = 0$

$A_{10} = 0$

第4面

$K = -0.0186$

$A_4 = -1.3469 \times 10^{-6}$

$A_6 = -1.6823 \times 10^{-8}$

$A_8 = 4.8156 \times 10^{-10}$

$A_{10} = -1.3513 \times 10^{-11}$

第6面

$K = -0.1908$

$A_4 = 7.7812 \times 10^{-5}$

$A_6 = -3.3883 \times 10^{-6}$

$A_8 = 2.0185 \times 10^{-7}$

$A_{10} = 2.3491 \times 10^{-10}$

実施例7

$f = 36.10\text{mm}, F_{N0} = 8.0, f_B = 31.44\text{mm}, \omega = 30.30^\circ$

$r_1 = 11.59844 \text{ (非球面)} d_1 = 2.50000 n_{d1} = 1.52542 v_{d1} = 55.78$

$r_2 = 25.87488 d_2 = 0.00000 n_{d2} = 1001 v_{d2} = -3.45$

$r_3 = 25.87622 \text{ (回折面)} d_3 = 2.70248$

$r_4 = -8.32192 d_4 = 3.00000 n_{d3} = 1.52542 v_{d3} = 55.78$

$r_5 = -8.91705 \text{ (非球面)} d_5 = 1.00000$

$r_6 = \infty \text{ (絞り)}$

非球面係数

第1面

$K = 1.4496$

$A_4 = -8.6872 \times 10^{-5}$

$A_6 = 1.0217 \times 10^{-6}$

$A_8 = 8.2837 \times 10^{-8}$

$A_{10} = -1.0350 \times 10^{-9}$

第3面

$K = -0.0204$

$A_4 = 7.7872 \times 10^{-8}$

$A_6 = 5.9898 \times 10^{-9}$

$A_8 = -1.0838 \times 10^{-10}$

$A_{10} = -1.5893 \times 10^{-12}$

第5面

$K = 0.2234$

$A_4 = 3.2547 \times 10^{-4}$

$A_6 = -3.3400 \times 10^{-5}$

$A_8 = 4.6694 \times 10^{-6}$

$A_{10} = -2.3879 \times 10^{-7}$

実施例8

$f = 36.09\text{mm}, F_{N0} = 8.0, f_B = 32.06\text{mm}, \omega = 30.97^\circ$

$r_1 = 9.51696 \text{ (非球面)} d_1 = 2.50000 n_{d1} = 1.74400 v_{d1} = 44.78$

$r_2 = 10.52707 d_2 = 1.04033$

$r_3 = -15.46041 \text{ (回折面)} d_3 = 0.00000 n_{d2} = 1001 v_{d2} = -3.45$

$r_4 = -15.45937 d_4 = 0.10000 n_{d3} = 1.52288 v_{d3} = 52.50$

$r_5 = -15.45937 d_5 = 3.00000 n_{d4} = 1.80440 v_{d4} = 39.59$

$r_6 = -13.67783 d_6 = 1.00000$

$r_7 = \infty \text{ (絞り)}$

非球面係数

第1面

 $K = 0.1880$ $A_4 = -7.5555 \times 10^{-5}$ $A_6 = 4.2084 \times 10^{-6}$ $A_8 = -2.6452 \times 10^{-7}$ $A_{10} = 4.4126 \times 10^{-9}$

第3面

 $K = 0.4814$ $A_4 = 1.6249 \times 10^{-5}$ $A_6 = 7.4952 \times 10^{-8}$ $A_8 = 1.4691 \times 10^{-9}$ $A_{10} = -3.6227 \times 10^{-11}$

実施例9

 $f = 36.06\text{mm}, F_N = 8.0, f_B = 32.81\text{mm}, \omega = 29.83^\circ$ $r_1 = \infty (\text{絞り}) d_1 = 0.50000$ $r_2 = 7.57760 (\text{非球面}) d_2 = 2.46929 n_{d1} = 1.52542 v_{d1} = 55.78$ $r_3 = 15.05913 d_3 = 0.00000 n_{d2} = 1001 v_{d2} = -3.45$ $r_4 = 15.06001 (\text{回折面}) d_4 = 1.35207$ $r_5 = -4.28197 d_5 = 1.99511 n_{d3} = 1.52542 v_{d3} = 55.78$ $r_6 = -5.43794 (\text{非球面})$

非球面係数

第2面

 $K = 0$ $A_4 = 6.2449 \times 10^{-4}$ $A_6 = 2.7831 \times 10^{-5}$ $A_8 = -2.3513 \times 10^{-7}$ $A_{10} = 3.0083 \times 10^{-7}$

第4面

 $K = 0$ $A_4 = 1.3125 \times 10^{-7}$ $A_6 = -8.8085 \times 10^{-9}$ $A_8 = -1.3059 \times 10^{-9}$ $A_{10} = 1.5398 \times 10^{-10}$

第6面

 $K = 0$ $A_4 = 4.0201 \times 10^{-4}$ $A_6 = 4.0097 \times 10^{-5}$ $A_8 = -9.8937 \times 10^{-7}$ $A_{10} = 1.7083 \times 10^{-7}$

実施例10

 $f = 36.14\text{mm}, F_N = 8.0, f_B = 33.18\text{mm}, \omega = 29.98^\circ$ $r_1 = \infty (\text{絞り}) d_1 = 0.50000$ $r_2 = 7.87896 (\text{非球面}) d_2 = 2.38715 n_{d1} = 1.63854 v_{d1} = 55.38$ $r_3 = 20.16269 d_3 = 0.93137$ $r_4 = -5.56618 (\text{回折面}) d_4 = 0.00000 n_{d2} = 1001 v_{d2} = -3.45$ $r_5 = -5.56608 d_5 = 0.10000 n_{d3} = 1.52288 v_{d3} = 52.50$ $r_6 = -5.56608 d_6 = 2.60967 n_{d4} = 1.74950 v_{d4} = 35.27$ $r_7 = -8.18851 (\text{非球面})$

非球面係数

23

24

第2面

 $K = 0$

$$\begin{aligned} A_4 &= 5.8651 \times 10^{-4} \\ A_6 &= 2.3985 \times 10^{-5} \\ A_8 &= 2.0588 \times 10^{-6} \\ A_{10} &= 6.2312 \times 10^{-10} \end{aligned}$$

第4面

 $K = 0$

$$\begin{aligned} A_4 &= -7.5180 \times 10^{-8} \\ A_6 &= 6.3634 \times 10^{-10} \\ A_8 &= 6.5392 \times 10^{-10} \\ A_{10} &= -2.2491 \times 10^{-10} \end{aligned}$$

第7面

 $K = 0$

$$\begin{aligned} A_4 &= 3.4101 \times 10^{-4} \\ A_6 &= 2.2906 \times 10^{-5} \\ A_8 &= -2.7705 \times 10^{-7} \\ A_{10} &= 3.6877 \times 10^{-8} \end{aligned}$$

実施例1 1

$$f = 35.91\text{mm}, F_{N0} = 8.0, f_B = 21.52\text{mm}, \omega = 30.30^\circ$$

$$\begin{aligned} r_1 &= -7.05746 \text{ (非球面)} & d_1 &= 2.30000 & n_{d1} &= 1.49241 & v_{d1} &= 57.66 \\ r_2 &= 14.08423 & d_2 &= 0.00000 & n_{d2} &= 1001 & v_{d2} &= -3.45 \\ r_3 &= 14.08473 \text{ (回折面)} & d_3 &= 2.29582 \\ r_4 &= \infty \text{ (絞り)} & d_4 &= 4.48559 \\ r_5 &= -10.25229 \text{ (非球面)} & d_5 &= 4.50403 & n_{d3} &= 1.58423 & v_{d3} &= 30.49 \\ r_6 &= -15.83454 \text{ (非球面)} \end{aligned}$$

非球面係数

第1面

 $K = 0$

$$\begin{aligned} A_4 &= -2.3262 \times 10^{-5} \\ A_6 &= 8.1332 \times 10^{-7} \\ A_8 &= -6.2628 \times 10^{-8} \\ A_{10} &= 1.5511 \times 10^{-9} \end{aligned}$$

第5面

 $K = 0.2201$

$$\begin{aligned} A_4 &= -5.2563 \times 10^{-4} \\ A_6 &= -7.8289 \times 10^{-5} \\ A_8 &= 5.5639 \times 10^{-6} \\ A_{10} &= -2.4568 \times 10^{-7} \end{aligned}$$

第6面

 $K = 0$

$$\begin{aligned} A_4 &= -1.3974 \times 10^{-4} \\ A_6 &= -8.0349 \times 10^{-6} \\ A_8 &= 1.9598 \times 10^{-7} \\ A_{10} &= -2.8489 \times 10^{-9} \end{aligned}$$

実施例1 2

$$f = 36.06\text{mm}, F_{N0} = 8.0, f_B = 34.03\text{mm}, \omega = 31.96^\circ$$

$$\begin{aligned} r_1 &= \infty \text{ (絞り)} & d_1 &= 1.00000 \\ r_2 &= 10.03481 \text{ (非球面)} & d_2 &= 3.20127 & n_{d1} &= 1.58423 & v_{d1} &= 30.49 \\ r_3 &= 7.76426 & d_3 &= 0.00000 & n_{d2} &= 1001 & v_{d2} &= -3.45 \end{aligned}$$

25

26

 $r_4 = 7.76443$ (回折面) $d_4 = 1.47535$ $r_5 = -33.63417$ $d_5 = 3.65580$ $n_{d3} = 1.72916$ $\nu_{d3} = 54.68$ $r_6 = -13.04871$ (非球面)

非球面係数

第2面

 $K = 0$ $A_4 = -1.4407 \times 10^{-4}$ $A_6 = 4.1761 \times 10^{-6}$ $A_8 = 1.7471 \times 10^{-7}$ $A_{10} = -9.7508 \times 10^{-8}$

第4面

 $K = 0$ $A_4 = -3.4278 \times 10^{-8}$ $A_6 = 2.0277 \times 10^{-8}$ $A_8 = -1.9875 \times 10^{-9}$ $A_{10} = 5.6037 \times 10^{-11}$

第6面

 $K = 0$ $A_4 = -9.9931 \times 10^{-5}$ $A_6 = -4.8519 \times 10^{-6}$ $A_8 = 1.0625 \times 10^{-7}$ $A_{10} = -6.0450 \times 10^{-9}$

実施例13

 $f = 36.10\text{mm}$, $F_N = 8.0$, $f_B = 35.68\text{mm}$, $\omega = 32.33^\circ$ $r_1 = \infty$ (絞り) $d_1 = 1.00000$ $r_2 = 6.35269$ (非球面) $d_2 = 1.39370$ $n_{d1} = 1.67270$ $\nu_{d1} = 32.10$ $r_3 = 4.91600$ (非球面) $d_3 = 1.80000$ $r_4 = -30.98742$ (回折面) $d_4 = 0.00000$ $n_{d2} = 1.001$ $\nu_{d2} = -3.45$ $r_5 = -30.98563$ $d_5 = 0.10000$ $n_{d3} = 1.52288$ $\nu_{d3} = 52.50$ $r_6 = -30.98563$ $d_6 = 1.83346$ $n_{d4} = 1.60311$ $\nu_{d4} = 60.64$ $r_7 = -9.42965$ (非球面)

非球面係数

第2面

 $K = 0$ $A_4 = -8.9798 \times 10^{-4}$ $A_6 = -4.1523 \times 10^{-5}$ $A_8 = 4.5065 \times 10^{-6}$ $A_{10} = -5.8311 \times 10^{-7}$

第3面

 $K = 0$ $A_4 = -1.1345 \times 10^{-3}$ $A_6 = -8.8333 \times 10^{-6}$ $A_8 = -4.1509 \times 10^{-6}$ $A_{10} = -8.4669 \times 10^{-8}$

第7面

 $K = 0$ $A_4 = -2.8189 \times 10^{-4}$ $A_6 = -2.7086 \times 10^{-5}$ $A_8 = 1.4981 \times 10^{-6}$ $A_{10} = -9.5050 \times 10^{-8}$

実施例14

$f = 28.40\text{mm}$, $F_{N0} = 8.0$, $f_B = 27.99\text{mm}$, $\omega = 39.53^\circ$

$r_1 = 10.25543$ (非球面)	$d_1 = 7.83781$	$n_{d1} = 1.58423$	$v_{d1} = 30.49$
$r_2 = 5.62830$	$d_2 = 8.99453$		
$r_3 = \infty$ (絞り)	$d_3 = 0.74914$		
$r_4 = 94.91775$ (回折面)	$d_4 = 0.00000$	$n_{d2} = 1001$	$v_{d2} = -3.45$
$r_5 = 94.95548$	$d_5 = 16.43054$	$n_{d3} = 1.52542$	$v_{d3} = 55.78$
$r_6 = -11.73144$ (非球面)			

非球面係数

第1面

$K = 0$
 $A_4 = 1.3631 \times 10^{-5}$
 $A_6 = 1.4664 \times 10^{-8}$
 $A_8 = -1.5347 \times 10^{-9}$
 $A_{10} = 1.3247 \times 10^{-11}$

第6面

$K = 0$
 $A_4 = 9.1625 \times 10^{-5}$
 $A_6 = -1.5954 \times 10^{-7}$
 $A_8 = 5.2916 \times 10^{-9}$
 $A_{10} = 4.1098 \times 10^{-12}$

実施例15

$f = 28.49\text{mm}$, $F_{N0} = 8.0$, $f_B = 24.33\text{mm}$, $\omega = 38.84^\circ$

$r_1 = 7.63416$ (非球面)	$d_1 = 3.33983$	$n_{d1} = 1.58423$	$v_{d1} = 30.49$
$r_2 = 5.17443$	$d_2 = 0.00000$	$n_{d2} = 1001$	$v_{d2} = -3.45$
$r_3 = 5.17454$ (回折面)	$d_3 = 1.13367$		
$r_4 = -52.74007$	$d_4 = 2.20000$	$n_{d3} = 1.67790$	$v_{d3} = 55.34$
$r_5 = -9.91155$ (非球面)	$d_5 = 1.00000$		
$r_6 = \infty$ (絞り)			

非球面係数

第1面
 $K = 0$
 $A_4 = -3.2760 \times 10^{-4}$
 $A_6 = -4.8325 \times 10^{-6}$
 $A_8 = -5.6482 \times 10^{-7}$
 $A_{10} = -3.3557 \times 10^{-9}$

第3面

$K = 0$
 $A_4 = -1.3215 \times 10^{-7}$
 $A_6 = 7.6302 \times 10^{-8}$
 $A_8 = -1.1646 \times 10^{-8}$
 $A_{10} = 6.3223 \times 10^{-10}$

第5面

$K = 0$
 $A_4 = -5.1452 \times 10^{-4}$
 $A_6 = -1.0559 \times 10^{-5}$
 $A_8 = -1.5190 \times 10^{-6}$
 $A_{10} = -6.5933 \times 10^{-10}$

実施例16

$f = 36.10\text{mm}$, $F_{N0} = 8.0$, $f_B = 32.90\text{mm}$, $\omega = 32.38^\circ$

29

30

$r_1 = 10.03645$ (非球面) $d_1 = 3.91802$ $n_{d1} = 1.60342$ $\nu_{d1} = 38.01$
 $r_2 = 6.33133$ (非球面) $d_2 = 1.60282$
 $r_3 = -53.44303$ (回折面) $d_3 = 0.00000$ $n_{d2} = 1.001$ $\nu_{d2} = -3.45$
 $r_4 = -53.43722$ $d_4 = 2.84551$ $n_{d3} = 1.63854$ $\nu_{d3} = 55.38$
 $r_5 = -10.39640$ (非球面) $d_5 = 1.00000$
 $r_6 = \infty$ (絞り)

非球面係数

第1面

 $K = 0$
 $A_4 = -1.6933 \times 10^{-4}$
 $A_6 = -5.5657 \times 10^{-6}$
 $A_8 = -3.6642 \times 10^{-9}$
 $A_{10} = -1.8218 \times 10^{-9}$

第2面

 $K = 0$
 $A_4 = 6.5371 \times 10^{-5}$
 $A_6 = 3.4012 \times 10^{-6}$
 $A_8 = -4.5904 \times 10^{-7}$
 $A_{10} = 6.2789 \times 10^{-8}$

第5面

 $K = 0$
 $A_4 = -2.8991 \times 10^{-4}$
 $A_6 = -1.6823 \times 10^{-5}$
 $A_8 = 9.4645 \times 10^{-7}$
 $A_{10} = -6.2250 \times 10^{-8}$

次に、上記実施例1、5、7、9、11、12、14、
15の無限遠物点に対する球面収差、非点収差、歪曲収

*に示す。以上の各実施例の前記条件式(1)～(8)の
値を下記の表に示す。
【0076】

	(1), (2)	(3), (4)	(5), (6)	(7), (8)
実施例 1	0.080	0.054	—	0.112
2	0.051	-0.024	—	0.143
3	0.066	-0.979	—	0.142
4	0.208	-0.217	—	0.077
5	0.127	-0.022	—	0.061
6	0.194	-0.100	—	0.084
7	0.186	-0.381	—	0.072
8	0.114	-0.050	—	0.157
9	0.082	—	-0.381	0.140
10	0.106	—	-0.781	0.117
11	0.064	—	-0.507	0.091
12	0.117	—	-0.205	0.102
13	0.116	—	-0.681	0.067
14	0.026	—	-0.499	0.086
15	0.152	—	-0.419	0.117
16	0.107	—	-0.765	0.073

【0077】以上の本発明の回折光学素子を用いた撮影
光学系は例えば次のように構成することができる。

【1】 明るさ絞りと、少なくとも2枚のレンズと、少
なくとも1面の回折面を有し、次の条件を満たすことを

特徴とする回折光学素子を用いた撮影光学系。

$$0 < d_{DOE} / f < 0.24$$

ただし、 f は全系の焦点距離、 d_{DOE} は明るさ絞りから回折面までの光軸上の距離である。

【0078】〔2〕 明るさ絞りと、少なくとも2枚の*

$$0.02 < d_{DOE} / f < 0.21$$

ただし、 f は全系の焦点距離、 d_{DOE} は明るさ絞りから回折面までの光軸上の距離である。

【0079】〔3〕 上記〔1〕又は〔2〕において、レンズは2枚で構成されていることを特徴とする回折光学素子を用いた撮影光学系。

【0080】〔4〕 明るさ絞りと、2枚のレンズから構成され、回折面を1面のみ有することを特徴とする回折光学素子を用いた撮影光学系。

【0081】〔5〕 上記〔3〕又は〔4〕において、物体側から順に、正レンズ、正レンズの2枚から構成されていることを特徴とする回折光学素子を用いた撮影光学系。

【0082】〔6〕 上記〔3〕又は〔4〕において、物体側から順に、正レンズ、負レンズの2枚から構成されていることを特徴とする回折光学素子を用いた撮影光学系。

$$-1 < SF_1 < 0.15$$

ただし、 SF_1 は、

$$SF_1 = (r_A - r_B) / (r_A + r_B)$$

で表され、ここで、 r_A は第1レンズの物体側の曲率半径、 r_B は第1レンズの像側の曲率半径である。★

$$-0.5 < SF_1 < 0.08$$

ただし、 SF_1 は、

$$SF_1 = (r_A - r_B) / (r_A + r_B)$$

で表され、ここで、 r_A は第1レンズの物体側の曲率半径、 r_B は第1レンズの像側の曲率半径である。

【0087】〔11〕 明るさ絞りを有し、物体側から順に、正レンズ、負レンズの2枚から構成され、少なくとも1面の回折面を有することを特徴とする回折光学素子を用いた撮影光学系。★

$$-1.2 < f / f_{NEG} < -0.05$$

ただし、 f は全系の焦点距離、 f_{NEG} は負レンズの焦点距離である。

【0090】〔14〕 上記〔11〕又は〔12〕において◆

$$-0.9 < f / f_{NEG} < -0.15$$

ただし、 f は全系の焦点距離、 f_{NEG} は負レンズの焦点距離である。

【0091】〔15〕 上記〔11〕又は〔12〕において、回折面の他に少なくとも1面の非球面を有することを特徴とする回折光学素子を用いた撮影光学系。

【0092】〔16〕 上記〔3〕、〔4〕、〔8〕～〔10〕、〔12〕の何れか1項において、明るさ絞りは2枚のレンズの物体側に配置したことを特徴とする回折光学素子を用いた撮影光学系。

【0093】〔17〕 上記〔3〕、〔4〕、〔8〕～

・・・ (1)

* レンズと、少なくとも1面の回折面を有し、次の条件を満たすことを特徴とする回折光学素子を用いた撮影光学系。

・・・ (2)

※学系。

【0083】〔7〕 上記〔3〕又は〔4〕において、物体側から順に、負レンズ、正レンズの2枚から構成されていることを特徴とする回折光学素子を用いた撮影光学系。

【0084】〔8〕 明るさ絞りを有し、物体側から順に、正レンズ、正レンズの2枚から構成され、少なくとも1面の回折面を有し、何れも均質系の媒質で構成されていることを特徴とする回折光学素子を用いた撮影光学系。

【0085】〔9〕 明るさ絞りを有し、物体側から順に、正レンズ、正レンズの2枚から構成され、少なくとも1面の回折面を有し、次の条件を満たすことを特徴とする回折光学素子を用いた撮影光学系。

・・・ (3)

★ 【0086】〔10〕 明るさ絞りを有し、物体側から順に、正レンズ、正レンズの2枚から構成され、少なくとも1面の回折面を有し、次の条件を満たすことを特徴とする回折光学素子を用いた撮影光学系。

・・・ (4)

☆ 【0088】〔12〕 明るさ絞りを有し、物体側から順に、負レンズ、正レンズの2枚から構成され、少なくとも1面の回折面を有することを特徴とする回折光学素子を用いた撮影光学系。

【0089】〔13〕 上記〔11〕又は〔12〕において、以下の条件を満たすことを特徴とする回折光学素子を用いた撮影光学系。

・・・ (5)

◆ いて、以下の条件を満たすことを特徴とする回折光学素子を用いた撮影光学系。

・・・ (6)

〔12〕の何れか1項において、明るさ絞りは2枚のレンズの間に配置したことを特徴とする回折光学素子を用いた撮影光学系。

【0094】〔18〕 上記〔3〕、〔4〕、〔8〕～〔12〕の何れか1項において、明るさ絞りは2枚のレンズの像側に配置したことを特徴とする回折光学素子を用いた撮影光学系。

【0095】〔19〕 上記〔1〕、〔2〕、〔8〕～〔12〕の何れか1項において、回折面を1面のみ有することを特徴とする回折光学素子を用いた撮影光学系。

【0096】 [20] 上記〔1〕、〔2〕、〔4〕、〔8〕～〔12〕の何れか1項において、回折面はレンズ曲面上に構成したことを特徴とする回折光学素子を用いた撮影光学系。

【0097】 [21] 上記〔1〕、〔2〕、〔4〕、〔9〕～〔12〕の何れか1項において、何れのレンズも均質系の媒質で構成されていることを特徴とする回折光学素子を用いた撮影光学系。*

$$0.02 < f / f_{DOE} < 0.5$$

ただし、 f は全系の焦点距離、 f_{DOE} は回折面のパワーである。

【0100】 [24] 上記〔22〕において、回折面※

$$0.05 < f / f_{DOE} < 0.25$$

ただし、 f は全系の焦点距離、 f_{DOE} は回折面のパワーである。

【0101】 [25] 上記〔1〕、〔2〕、〔4〕、〔8〕～〔12〕の何れか1項において、回折面はキノフォーム形状で構成されていることを特徴とする回折光学素子を用いた撮影光学系。

【0102】 [26] 上記〔1〕、〔2〕、〔4〕、〔8〕～〔12〕の何れか1項において、回折面はバイ★

$$470\text{ nm} < \lambda_{DOE} < 550\text{ nm}$$

【0104】 [28] 上記〔1〕、〔2〕、〔4〕、〔8〕～〔12〕の何れか1項において、回折次数は1次であることを特徴とする回折光学素子を用いた撮影光学系。

【0105】 [29] 上記〔1〕、〔2〕、〔4〕、〔8〕～〔12〕の何れか1項において、少なくとも回折面を有するレンズはプラスチックで構成されていることを特徴とする回折光学素子を用いた撮影光学系。

【0106】 [30] 上記〔1〕、〔2〕、〔4〕、〔8〕～〔12〕の何れか1項において、少なくとも回折面を有するレンズは低吸湿な有機材料で構成されていることを特徴とする回折光学素子を用いた撮影光学系。

【0107】 [31] 上記〔1〕、〔2〕、〔4〕、〔8〕～〔12〕の何れか1項において、回折面は基材に密着させた樹脂で構成されていることを特徴とする回折光学素子を用いた撮影光学系。

【0108】 [32] 上記〔1〕、〔2〕、〔4〕、〔8〕～〔12〕の何れか1項において、固定焦点であることを特徴とする回折光学素子を用いた撮影光学系。

【0109】 [33] 上記〔1〕、〔2〕、〔4〕、〔8〕～〔12〕の何れか1項において、射出瞳位置が有限であることを特徴とする回折光学素子を用いた撮影光学系。

【0110】

【発明の効果】以上の説明から明らかなように、本発明では回折面を適切に用いることにより、少ない枚数でありながら色収差の補正された高性能な光学系を得ることができる。それによって、カメラ等に用いられる撮影光

* 【0098】 [22] 上記〔1〕、〔2〕、〔4〕、〔8〕～〔12〕の何れか1項において、回折面は正のパワーを有していることを特徴とする回折光学素子を用いた撮影光学系。

【0099】 [23] 上記〔22〕において、回折面は次の条件式を満たすことを特徴とする回折光学素子を用いた撮影光学系。

… (7)

10※は次の条件式を満たすことを特徴とする回折光学素子を用いた撮影光学系。

… (8)

★ナリーオプティカル素子で構成されていることを特徴とする回折光学素子を用いた撮影光学系。

【0103】 [27] 上記〔1〕、〔2〕、〔4〕、〔8〕～〔12〕の何れか1項において、回折効率が最大にする波長を設計波長とするとき、設計波長 λ_{DOE} は次の式を満たすことを特徴とする回折光学素子を用いた撮影光学系。

… (9)。

学系を安価で高性能なものにできる。

【図面の簡単な説明】

【図1】回折格子の回折作用を説明するための図である。

【図2】キノフォームの断面形状を示す図である。

【図3】バイナリーオプティカル素子の断面形状を示す図である。

30 【図4】設計次数を1、設計波長を500nmにしたときの波長と回折効率の関係を示す図である。

【図5】設計次数を1～5にしたときの回折効率の変化を示す図である。

【図6】実施例1の光軸を含むレンズ断面図である。

【図7】実施例2の光軸を含むレンズ断面図である。

【図8】実施例3の光軸を含むレンズ断面図である。

【図9】実施例4の光軸を含むレンズ断面図である。

【図10】実施例5の光軸を含むレンズ断面図である。

【図11】実施例6の光軸を含むレンズ断面図である。

【図12】実施例7の光軸を含むレンズ断面図である。

【図13】実施例8の光軸を含むレンズ断面図である。

【図14】実施例9の光軸を含むレンズ断面図である。

【図15】実施例10の光軸を含むレンズ断面図である。

【図16】実施例11の光軸を含むレンズ断面図である。

【図17】実施例12の光軸を含むレンズ断面図である。

【図18】実施例13の光軸を含むレンズ断面図である。

【図19】実施例14の光軸を含むレンズ断面図である。

【図20】実施例15の光軸を含むレンズ断面図である。

【図21】実施例16の光軸を含むレンズ断面図である。

【図22】実施例1の収差図である。

【図23】実施例5の収差図である。

【図24】実施例7の収差図である。

【図25】実施例9の収差図である。

【図26】実施例11の収差図である。

【図27】実施例12の収差図である。

【図28】実施例14の収差図である。

【図29】実施例15の収差図である。

【図30】本発明において用いる回折面の具体的な形状を例示する断面図である。

【符号の説明】

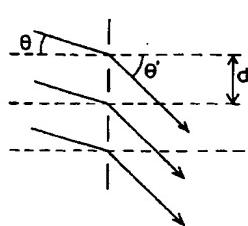
2 1 …透明部

2 2 …不透明部

2 3 …高屈折率部

10 2 4 …低屈折率部

【図1】



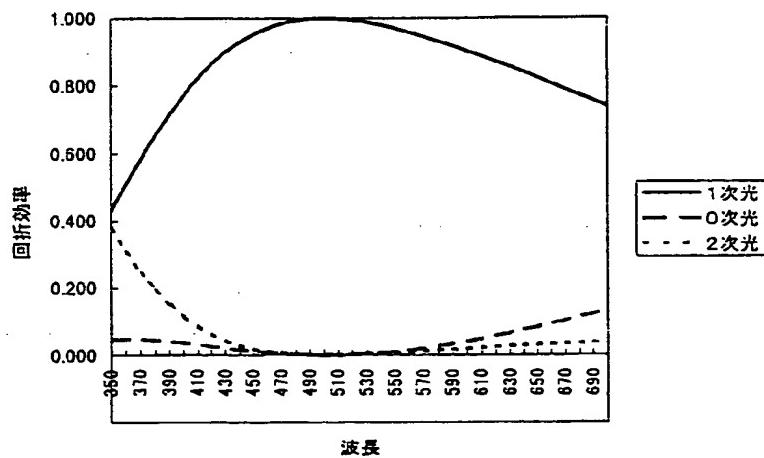
【図2】



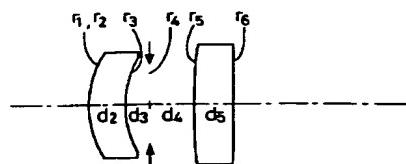
【図3】



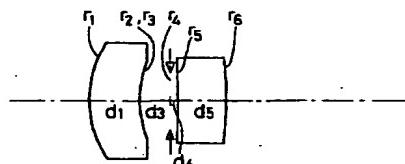
【図4】



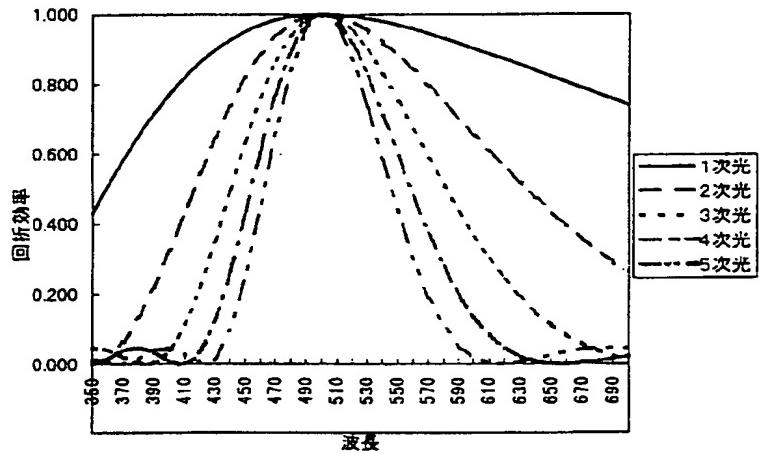
【図6】



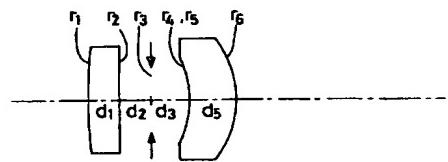
【図7】



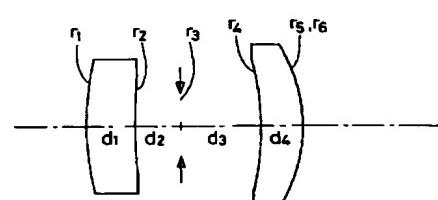
【図5】



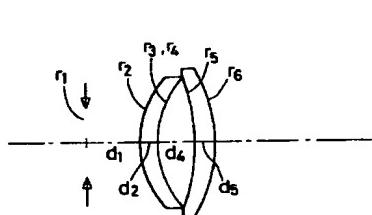
【図8】



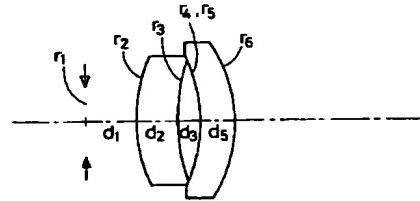
【図9】



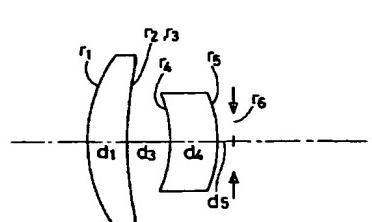
【図10】



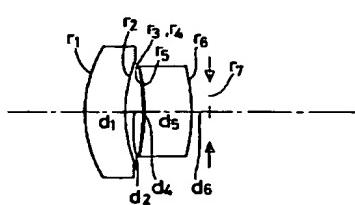
【図11】



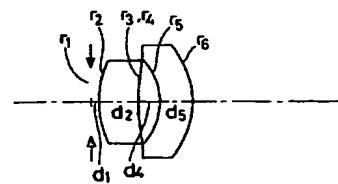
【図12】



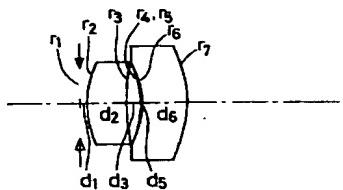
【図13】



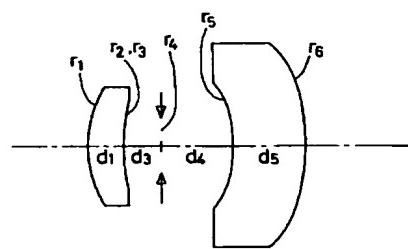
【図14】



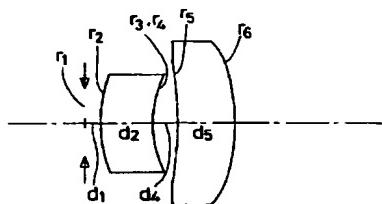
【図15】



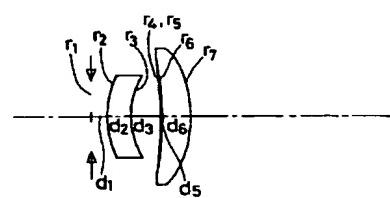
【図16】



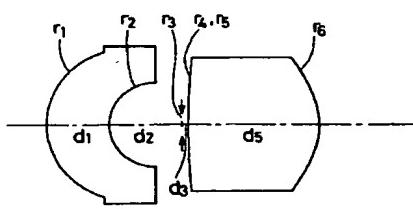
【図17】



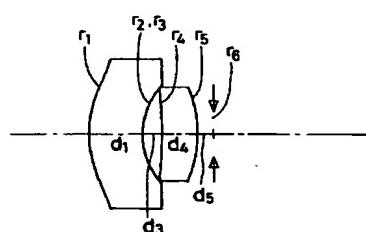
【図18】



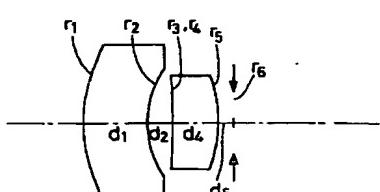
【図19】



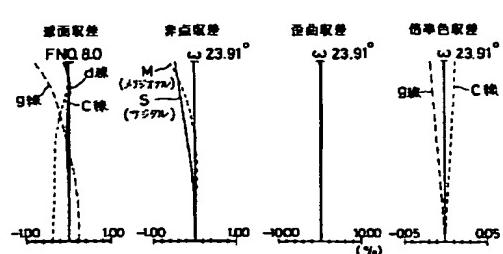
【図20】



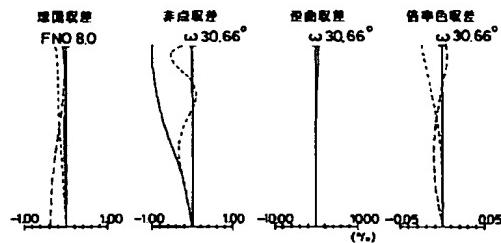
【図21】



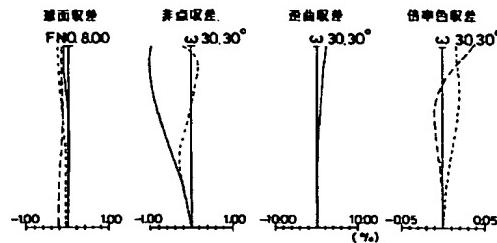
【図22】



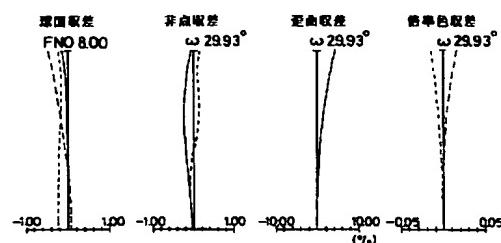
【図23】



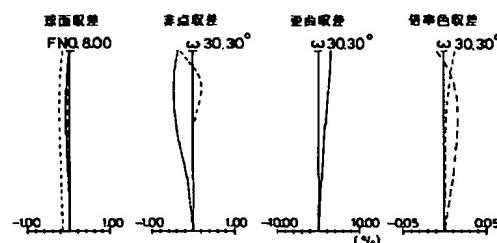
【図24】



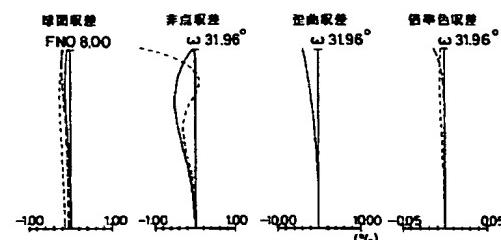
【図25】



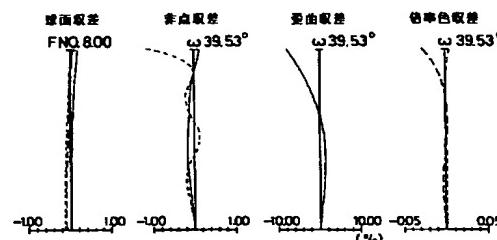
【図26】



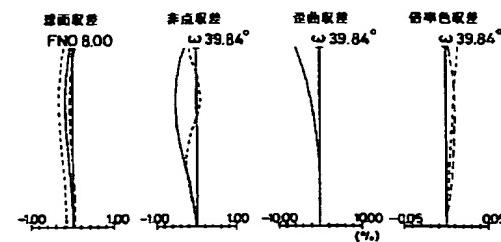
【図27】



【図28】



【図29】



【図30】

